

# Lämpimän ryömintätilaisen alapohjan lämpö- ja kosteustekninen toiminta

Anssi Laukkarinen<sup>1</sup>, Juha Vinha<sup>1</sup>, Pekka Kristo<sup>2</sup>, Kari Kristo<sup>2</sup> ja Leif Häggblom<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos

<sup>2</sup> Muurametalot Oy

## Tiivistelmä

Lämpimän ryömintätilaisen alapohjan perusidea on alapohjan lämmöneristyksen sijoittamisessa lähes kokonaan sokkeliin sekä maata vasten. Tämän lisäksi ryömintätilan ilmanvaihto hoidetaan rakennuksen ilmanvaihtolaitteella ulkoa lämmöntalteenoton kautta. Nämä toimenpiteet tekevät ryömintätilasta tuuletetun lämpimän puskurivyöhykkeen lämpimien tilojen sekä maan väliin.

## 1. Johdanto

Ulkoilmaan tuulettuva ryömintätilainen alapohja on tavallinen ratkaisu suomalaisessa rakentamisessa. Rakenne on helppo tehdä vaikeaan maastoon sekä mahdollistaa esimerkiksi tilaelementtirakentamisen sekä paaluperustuksen käytön. Ryömintätilaa voidaan myös käyttää talotekniikan asennus- ja huoltotilana.

Perinteisen ratkaisun heikkoutena on kuitenkin kesäisin ryömintätilassa esiintyvä korkea suhteellinen kosteus, mikä johtuu rakennuksen alapuolisen maamassan ilmaa viilentävästä vaikutuksesta. Lämpötilanvaihtelut maassa tapahtuvat hitaammin kuin ulkoilmassa, jolloin maa on talvisin ulkoilmaa lämpimämpi ja kesäisin ulkoilmaa viileämpi. Talvisin lämpötilan nousu ryömintätilassa ulkoilmaan nähden parantaa sen kosteusteknistä toimintaa, mutta vastaavasti kesällä olosuhteet heikkenevät. [1]

Korkea suhteellinen kosteus mahdollistaa tai nopeuttaa eri turmeltumisilmiöitä, kuten homeen kasvun, materiaalien emissiot, lahovauriot tai terästen korroosion, mistä syystä suhteellinen kosteus olisi suotavaa pyrkiä pitämään alhaisella tasolla.

Jos ryömintätilaan vaikuttavia kosteuslähteitä ovat ulkoilman kosteuden lisäksi muitakin, kuten ulkopuoliset pinta- ja sulamisvedet, sadevesijärjestelmien ohjaamat vedet tai suuri kosteuskuormitus maasta tukkeutuneiden tai puuttuvien salaojien tai salaojakerroksen vuoksi, voivat olosuhteet alapohjassa olla hyvinkin rankat. Ratkaisua voidaan lähteä hakemaan periaatteellisella tasolla joko rasiustason alentamisesta, rakenteen kestävyuden kasvattamisesta tai näiden yhdistelmästä.

Lämmin ryömintätilainen alapohja on rakenne, jossa alapohjan lämmöneristys on siirretty lattiarakenteesta sokkeliin sekä maanvastaiseen lattiaan. Nyt tutkitussa ratkaisussa ryömintätilan ilmanvaihto on toteutettu rakennuksen koneellisella tulo-poisto-ilmanvaihdolla lämmöntalteenoton kautta. Tuloilma tuodaan ryömintätilaan ulkoa lämmöntalteenoton kautta, jolloin sen lämpötila on ulkoilmaa korkeampi. Poistoilma viedään vastaavasti kokoojakanavaan ja ohjataan lämmöntalteenottolaitteeseen ennen puhaltamista ulos. Lämmin ryömintätilainen alapohja yhdistää monelta osin maanvastaisen laatan ja ryömintätilaisen alapohjan hyvät puolet.

Tässä tekstissä kuvataan tutkittava lämmin alapohjarakenne, sille asetettavat vaatimukset, rakenteen U-arvon ja energiankulutuksen laskenta sekä arvioidaan lyhyesti rakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä.

## 2. Lämpimän ryömintätilan luokittelu ja vaatimukset

Rakenteiden ja rakennusten luokittelu määrää niille asetettavat vaatimukset. Tässä luvussa käydään läpi eri tilatyypin määritelmiä ja verrataan lämmintä ryömintätilaa näihin määritelmiin. Vertailun tuloksena saadaan määritettyä lämpimälle alapohjalle asetettavat U-arvo- ja energiankulutusvaatimukset.

### 2.1 Lämmittämätön, lämmin vai puolilämmin tila?

Lämmittämätöntä tilaa ei ole tarkoitettu lämmityskaudella jatkuvaan oleskeluun eikä sitä ole tarkoituksellisesti lämmitetty. Lämmittämättömän tilan lämpötila seuraa lämmityskaudella yleensä ulkoilman lämpötilaa. Lämmöneristys- tai energiatehokkuusvaatimukset eivät koske lämmittämätöntä tilaa, eikä niitä oteta huomioon rakennuksen vaipan lämpöhäviöitä laskettaessa. [2], [3]

Lämmintä ryömintätilaista alapohjaa ei erikseen lämmitetä, mutta toisaalta rakenne on suunniteltu niin, että sen lämpötila ei myöskään täysin seuraa ulkoilman lämpötilaa. Koska rakenne vaikuttaa aidosti rakennuksen lämpöhäviöihin sekä kosteustekniseen toimintaan, tulee sille asettaa vähimmäisvaatimukset lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa varten. Näin ollen lämpimän ryömintätilaisen alapohjan ei katsota olevan lämmittämätön tila.

Lämpimän tilan mitoittava huonelämpötila lämmityskaudella on vähintään +17 °C [2], [3]. Ryömintätilan lämpötila ei yleensä ole näin korkea lämmityskaudella, eikä tilaa erikseen myöskään lämmitetä, jolloin sen olosuhteet eivät ole yhtä korkeatasoiset kuin esimerkiksi asuintiloissa. Näin ollen lämpimän ryömintätilaisen alapohjan ei katsota olevan lämmin tila.

Puolilämmintä tilaa ei ole tarkoitettu jatkuvaan oleskeluun normaalia sisävaatetusta käyttäen. Tilan lämpötilana pidetään lämmityskaudella vähintään +5 °C, mutta alle +17 °C tai tilan lämpötila olisi näissä rajoissa ilman tuotantoprosessin luovuttamaa lämpöä. [2], [3]

Vaikka lämpötekniikan toiminnan kannalta lämmin ryömintätila olisi tarkalleen ottaen lähimpänä lämmittämätöntä tilaa, niin toteutuvien lämpötilojen sekä lämpö- ja kosteusteknisten vaatimusten perusteella rakenteen on katsottu olevan puolilämmin tila. Tällöin sen vaipan osia koskevat puolilämpimän tilan lämmöneristysvaatimukset ja tila myös otetaan huomioon rakennuksen ilmanvuotoluvun mittauksessa, tasauslaskelmassa sekä E-luvun määrittämisessä.

### 2.2 Lämmin ryömintätilainen alapohja rakennuksen energiaselvityksessä

Uudisrakennukselle tulee tehdä energiaselvitys rakennuslupaa haettaessa ja se tulee päivittää ennen rakennuksen käyttöönottoa [3]. Seuraavassa käydään lyhyesti läpi, miten lämmin ryömintätilainen alapohja otetaan huomioon rakennuksen määräystenmukaisuutta osoitettaessa.

Rakennuksen lämpöhäviöiden määräystenmukaisuus osoitetaan lämpöhäviöiden tasauslaskelmalla, jossa rakennuksen lämpimät ja puolilämpimät tilat otetaan huomioon omina kokonaisuuksinaan. Tilojen välisiä lämpöhäviöitä ei oteta huomioon, koska lämpimien tilojen lämpöhäviöt ovat lämpösaantoa puolilämpimiin tiloihin. Lämpimien ja puolilämpimien tilojen

välisen rakenteiden tulee kuitenkin täyttää vaatimukset rakenteiden U-arvon enimmäisarvosta (U-arvo alle  $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ). Toisaalta mitä pienempi lattiarakenteen lämmönvastus on, sitä lämpimämmäksi ryömintätilan lämpötila nousee. Kun ryömintätilaan ei ole ilmankosteuden lisäksi muita kosteuslähteitä, parantaa lämpötilan nouseminen ryömintätilan kosteusteknistä toimintaa.

Puolilämpimän ja ulkoilman välisen rakenteiden U-arvojen vertailuarvoina käytetään puolilämpimien tilojen rakenteiden vertailuarvoja. Ryömintätilan ilma ei lähtökohtaisesti ole niin liikaista, etteivät sitä koskisi vaatimukset ilmanvaihdon lämmöntalteenotosta. Näin ollen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen vertailuarvona käytetään RakMK:ssa annettua LTO:n vuosihyötysuhteen vertailuarvoa.

Alapohjarakenteiden ilmatiiviys on tärkeä tekijä esimerkiksi radonkuormituksen sekä maasta nousevien mahdollisten epäpuhtauksien pienentämiseksi. Rakennuksen ilmatiiviin (ilmanpainetta pidättävän) vaipan katsotaan kulkevan rakennuksen ulkoseinän, sokkelin sekä maanvastaisen lattian kautta, jolloin rakennuksen ilmatiiveysluku  $q_{50}$  mitataan avaamalla asuintilojen ja ryömintätilan välinen käyntiluukku.

Tilojen lämpöhäviöiden laskennassa tulee ottaa huomioon vaipan johtumislämpöhäviöt, vuotoilman lämpöhäviöt sekä korvausilman ja tuloilman lämpeneminen tilassa. ([3], luku 4.2).

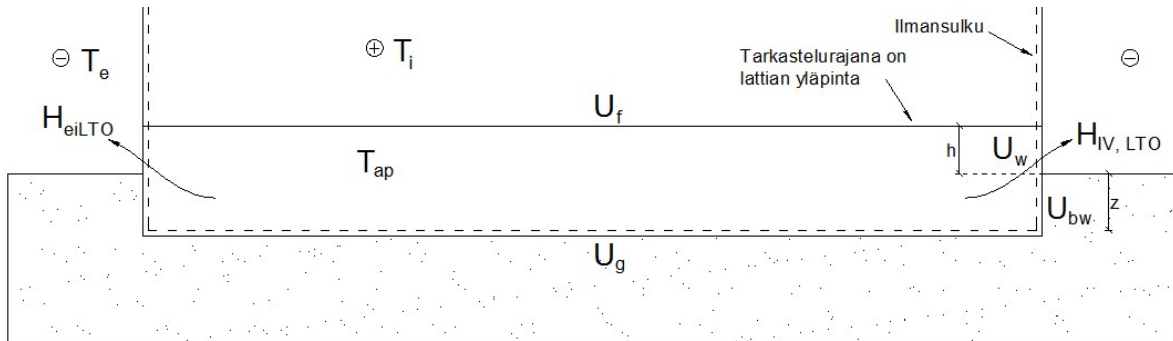
Vuotoilmavirtaa laskettaessa rakennuksen vaippaan kuuluu myös maanvastainen alapohja ([4], kohta 3.3). Ryömintätilan maanvastaiset rakenteet on nyt tehdyissä laskelmissa rinnastettu maanvastaiseen alapohjaan, mistä syystä ryömintätilan paineistettuun pinta-alaan on laskettu mukaan myös maanvastaiset osat.

Rakennuksen E-luvun laskennassa otetaan tarvittaessa huomioon eri käyttötarkoituseräluokat ja näiden raja-arvot. Jos yksittäisen käyttötarkoituksen mukainen osa on alle 10 % lämmitetystä nettoalasta, voidaan se laskea muihin tiloihin kuuluvaksi. [3] Alle 1600 mm korkeat huoneiden osat lasketaan rakennusosa-alaan [5], eli ryömintätila ei tätä kautta tarkasteltuna kuulu lämmitettyyn nettoalaan. Näin ollen E-luvun laskennassa rakennuksen energiankulutus sisältää lämpöhäviöt asuintiloista ryömintätilaan, mutta lämmitetty nettoala Anetto ei sisällä ryömintätilan pinta-alaa.

### 3. Laskentakaavat, menetelmät ja tulokset

#### 3.1 Alapohjan U-arvo, lämpötila ja energiankulutus

Ryömintätilan lämpöhäviöiden termit on esitetty seuraavassa kuvassa:



Kuva 1. Ryömintätilan U-arvolaskennan parametrit. Rakennuksen ilmansulkukerros on piirretty kuvaan katkoviivalla.

Standardi SFS-EN ISO 13370 sisältää menetelmän ryömintätilaisen alapohjan U-arvon laskemiseksi [7]. Standardi SFS-EN ISO 13789 esittelee yhtälöt tilojen lämpöhäviöiden laskentaan sekä lämpöhäviöiden laskentaan lämmittämättömien tilojen kautta [8]. Standardien kaavat perustuvat suoraan tilojen lämpötaseeseen. Yhtälöistä saadaan ratkaistua esimerkiksi joko alapohjan tehollinen U-arvo tai tarkastelupisteiden lämpötilat.

Nyt tehdyissä laskelmissa on käytetty kolmea eri tapaa laskea ryömintätilan kuukausittaiset lämpötilat:

1. Suora tapa, jossa ryömintätilan lämpötase muodostetaan suoraan rakenteen U-arvojen, pinta-alojen sekä ilmavirtojen lämpöhäviöiden avulla. Sisä- ja ulkoilman lämpötiloina käytetään todellisia kuukausittaisia lämpötiloja, mutta maan viivettä ei saada mukaan laskelmaan. Tarkalleen ottaen menetelmää voidaan käyttää ryömintätilan vuosikeskiarvon laskentaan, koska pitkällä ajanjaksoilla maan viiveen vaikutus keskiarvoistuu. Koko alapohjan tehollinen U-arvo on esitetty kaavassa (1).
2. Lämpöhäviöt maanvastaisen lattian kautta lasketaan standardin SFS-EN ISO 13370 liitteen A.3 mukaan. Tällöin lasketaan ensiksi ryömintätilan lämpötilan vuosikeskiarvo menetelmän 1 mukaisesti. Standardin liitteen A.3 kaavaa A.4 käytettäessä saadaan sisä- ja ulkoilman lämpötilavaihtelut otettua tarkemmin huomioon ( $H_{pi}$ - ja  $H_{pe}$ -termit), mutta maan viive oletetaan nolaksi myös tässä menetelmässä. Ryömintätilan lämpötaseesta saadaan johdettua kaava (4) ryömintätilan lämpötilalle.
3. Lämpöhäviöt maanvastaisen lattian kautta lasketaan standardin SFS-EN ISO 13370 liitteen A.2 kaavalla A.3. Tällöin yhtälöön jää tuntemattomaksi myös ryömintätilan lämpötilavaihtelun amplitudi, jonka laskemiseksi tulee tuntea kaikkien kuukausien lämpötilat. Tällöin päädytään 12 yhtälöön vuotta kohti, jolloin yhtälöryhmän ratkaiseminen kynällä ja paperilla tulee liian työlääksi ja virhealttiiksi. Tarkan vastauksen etsimiseksi yhtälöt kirjoitettiin kolmelle pisteelle (lattian alapinta, ryömintätilan ilmatila sekä maanvastaisen lattian yläpinta) ja ratkaistiin MathCad-ohjelmalla.

Ensimmäisessä tavassa lasketaan koko alapohjan tehollinen U-arvo, joka sisältää kaikki lämpöhäviöt asuintiloista ulkoilmaan asti. Tällöin energiankulutuksen laskennassa käytetään tehollisen U-arvon lisäksi sisä- ja ulkoilman välistä lämpötilaeroa (kaava 2).

Toisessa ja kolmannessa tavassa ratkaistaan ryömintätilan lämpötila, jolloin alapohjan energiankulutus voidaan laskea asuintilojen ja ryömintätilan välisen lämpötilaeron sekä pelkän lattiarakenteen U-arvon perusteella ([4], luku 3.2, termi  $Q_{\text{muu}}$ ). Ryömintätilan lämpötila riippuu lattiarakenteen lämmöneristystasosta, joten ryömintätilan lämpötila tulee laskea erikseen kullekin rakenneratkaisulle, jotta energiankulutuslaskelma lattian U-arvon kanssa tuottaa oikean tuloksen.

Ensimmäisessä kohdassa on mahdollista johtaa lauseke myös ryömintätilan lämpötilalle, mutta tämä tuottaa energialaskennan kannalta saman tuloksen koko alapohjan U-arvon käyttöön verrattuna.

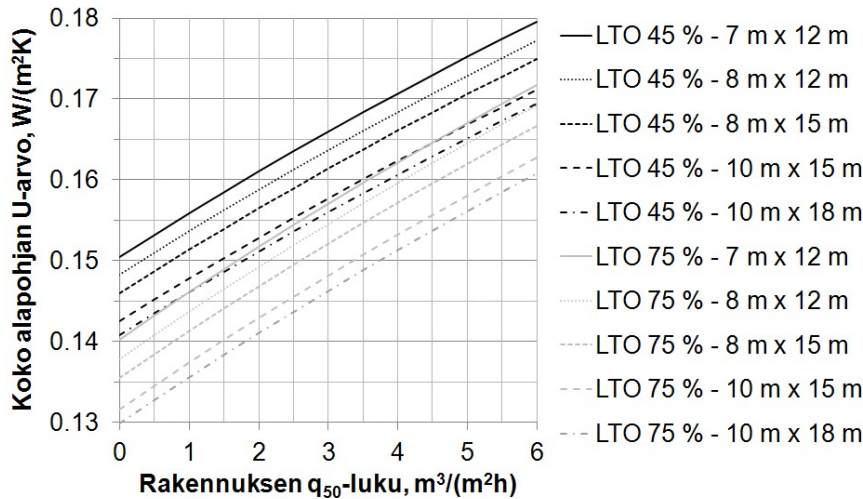
Menetelmällä (1) saadaan seuraava lauseke koko alapohjan U-arvolle:

$$U_{tot} = \frac{1}{\frac{1}{U_f} + \frac{A_f}{hPU_w + zPU_{bw} + A_fU_g + H_{IV,LTO} + H_{eiLTO}}} \quad (1)$$

- missä  $U_{tot}$  = koko alapohjarakenteen tehollinen U-arvo, W/(m<sup>2</sup>K)  
 $U_f$  = asuintilojen ja ryömintätilan välisen lattian U-arvo lähteen [6] mukaisesti, W/(m<sup>2</sup>K)  
 $A_f$  = alapohjan pinta-ala, m<sup>2</sup>  
 $h$  = lattiarakenteen yläpinnan korkeus ympäröivästä maanpinnasta, m  
 $P$  = rakennuksen ulkoilmaan avoin piiri, m  
 $U_w$  = maanpäällisen sokkelin U-arvo lähteen [6] mukaisesti, W/(m<sup>2</sup>K)  
 $z$  = rakennusta ympäröivän maanpinnan korkeus ryömintätilan lattiasta, m  
 $U_{bw}$  = maanvastaisen sokkelin U-arvo lähteen [7] mukaisesti, W/(m<sup>2</sup>K)  
 $U_g$  = maanvastaisen alapohjan U-arvo lähteen [7] mukaisesti, W/(m<sup>2</sup>K)  
 $H_{IV,LTO}$  = ryömintätilan ominaislämpöhäviö koneellisen ilmanvaihdon kautta, W/K  
 $H_{eiLTO}$  = ryömintätilan korvausilmavirran ja vuotoilmavirran ominaislämpöhäviö, W/K.

Tarkastellaan ryömintätilaista alapohjaa, jossa  $U_f = 0,39$  W/(m<sup>2</sup>K),  $U_w = 0,13$  W/(m<sup>2</sup>K),  $U_{bw} = 0,13$  W/(m<sup>2</sup>K),  $U_g = 0,13$  W/(m<sup>2</sup>K),  $z = 0,55$  m,  $h = 0,49$  m,  $n = 0,25$  1/h,  $q_{tulo}/q_{poisto} = 0,9$  ja  $x = 35$ . Sokkelin sisäpinnassa sekä maanvastaisen lattian yläpinnassa on alumiinilaminaatti ( $\epsilon = 0,07$ ).

U-arvolaskennan tulokset eri kokoisille rakennuksille kahdella eri LTO-laitteen vuosihyötysuhteella  $\eta_a$  sekä rakennuksen eri ilmavuotoluvun  $q_{50}$  arvoilla on esitetty seuraavassa kuvaajassa. Lasketussa U-arvossa on mukana johtumisen, ilmanvaihdon, korvausilman sekä vuotoilman lämpöhäviöt. Maanvastaisen alapohjan U-arvo riippuu myös rakennuksen koosta ja on laskettu aina kutakin rakennuksen kokoa vastaavasti.



Kuva 2. Tarkastellun alapohjaratkaisun U-arvo eri kokoisille rakennuksille, kahdella eri LTO:n vuosihyötysuhteella sekä eri rakennuksen ilmanvuotoluvun arvoilla. Ryömintätilan sokkeli- ja lattiapinnoissa on alumiinilaminaattipinta.

Koko alapohjan U-arvo on korkeampi kuin ulkoilmaan rajoittuvien yksittäisten rakenneosien U-arvot. Tämä johtuu lämpöä eristävän vaipan pinta-alan kasvusta sekä lämmön usean siirtymismuodon yhdistämisestä yhden luvun sisään.

Kun alapohjan U-arvo on laskettu, saadaan kuukausittaiset lämpöhäviöt seuraavan kaavan avulla:

$$Q_{ap} = U_{tot} A_f (T_s - T_u) \Delta t \quad (2)$$

missä  $Q_{ap}$  = lämpöhäviö alapohjan kautta, kWh  
 $T_s$  = asuintilojen lämpötila, K tai °C  
 $T_u$  = ulkoilman lämpötila, K tai °C  
 $\Delta t$  = ajanjakson pituus, h.

U-arvon sisältämiä lämpöhäviöitä ei tarvitse enää ottaa huomioon rakennuksen E-luvun laskennassa, koska muutoin ne tulisivat laskettua mukaan kahteen kertaan. Jos U-arvon sijaan ryömintätilan lämpötaseesta johdetaan lauseke ryömintätilan lämpötilalle, saadaan:

$$T_{rt} = \frac{T_s U_f A_f + T_u (U_w h P + U_{bw} z P + U_g A_f + H_{IV,LTO} + H_{eiLTO})}{U_f A_f + U_w h P + U_{bw} z P + U_g A_f + H_{IV,LTO} + H_{eiLTO}} \quad (3)$$

missä  $T_{rt}$  = ryömintätilan ilman lämpötila, K tai °C.

Todellisessa rakenteessa ryömintätilan vuoto- ja korvausilmavirrat vaikuttavat rakenteen lämpötilaan. Rakennesuunnitelmien tekemisen kannalta saattaa kuitenkin olla helpompaa, jos ilmavirtojen lämpöhäviöt käsitellään osana rakennuksen energiankulutusta. Tämä on mahdollista, kun ilmavirtojen lämpöhäviöiden lämpötilaerona käytetään suoraan sisä- ja ulkoilman välistä lämpötilaeroa, mikä on varmalla puolella oleva arvio. Tällöin lasketut lämpöhäviöt alapohjan kautta pienenevät, mutta todellista suuremman lämpötilaeron käyttäminen ilmavirroille kompensoi tämän pienennyksen. Yksinkertaistuksen aiheuttama virhe lämpimän alapohjan energiankulutukseen on tapauksesta riippuen arviolta noin 20...40 %. Kosteusolosuhteiden

tarkasteluissa tätä yksinkertaistusta ei tule tehdä, koska se johtaa epävarmalla puolella olevaan arvioon.

Käytettäessä lähteessä [7] annettuja liitteen A.3 lauseketta lämpöhäviöille maanvastaisen lattian kautta, saadaan seuraava lauseke:

$$T_{rt,ISO} = \frac{T_s U_f A_f + H_{sokjalV} T_u + U_g A_f (\bar{T}_{rt} - \bar{T}_u) + H_{pi} \bar{T}_{rt} - H_{pe} (\bar{T}_u - T_u)}{U_f A_f + H_{sokjalV} + H_{pi}} \quad (4)$$

missä  $H_{sokjalV}$  = ryömintätilan ja ulkoilman välisten ominaislämpöhäviöiden summa, joissa ei ole viivettä mukana ( $U_{bw}$ ,  $U_w$ ,  $H_{IV,LTO}$  ja  $H_{eiLTO}$ ), W/K

$\bar{T}_{rt}$  = ryömintätilan ilmatilan lämpötilan vuosikeskiarvo, K

$\bar{T}_u$  = ulkoilman lämpötilan vuosikeskiarvo, K

$H_{pi}$  = sisäpuolinen jaksollinen lämpöhäviökerroin, W/K

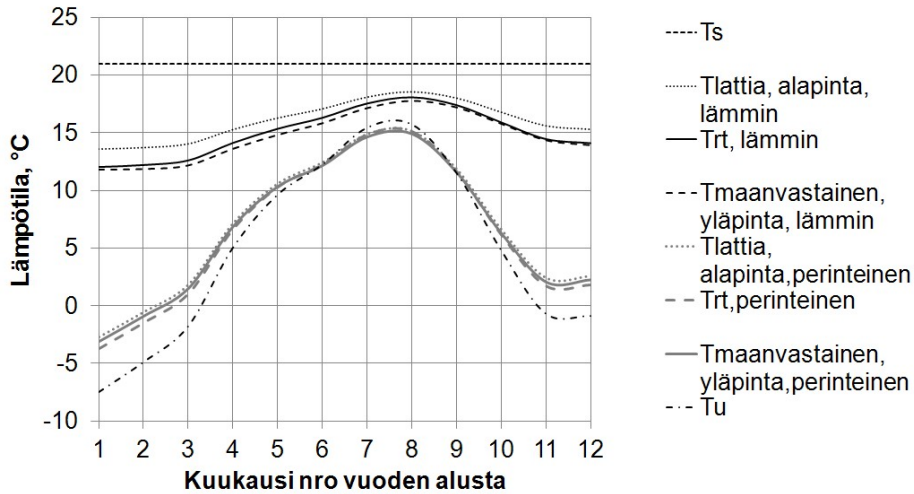
$H_{pe}$  = ulkopuolinen jaksollinen lämpöhäviökerroin, W/K.

Laskennassa käytettiin lähteessä [7, liite F] annettuja termien  $H_{pi}$  ja  $H_{pe}$  lausekkeita maanvastaiselle lattialle.

Tavassa (3) lattian alapinnan ( $T_{lattia, alapinta}$ ) lämpötaseen muodostavat johtumislämpöhäviö asuintiloihin, konvektiivinen lämmönsiirto ryömintätilan ilmaan sekä säteilylämmönsiirtomaanvastaiseen lattian. Maanvastaisen lattian yläpinnan ( $T_{maanvastainen, yläpinta}$ ) lämpötaseen muodostavat johtumislämpöhäviöt ulkoilmaan maan kautta, konvektiivinen lämmönsiirto ryömintätilan ilmaan sekä säteilylämmönsiirto lattiarakenteen alapintaan. Ilmatilan ( $T_{rt}$ ) lämpötaseen muodostavat konvektiivinen lämmönsiirto lattiarakenteen alapintaan sekä maanvastaisen lattian yläpintaan, johtumislämpöhäviöt ilmaan rajoittuvan sokkelin sekä maanvastaisen sokkelin kautta sekä ilmanvaihdon, korvausilman sekä vuotoilmavirran lämpöhäviöt.

### 3.2 Alapohjan lämpötila, kosteustekninen toiminta ja energiankulutus

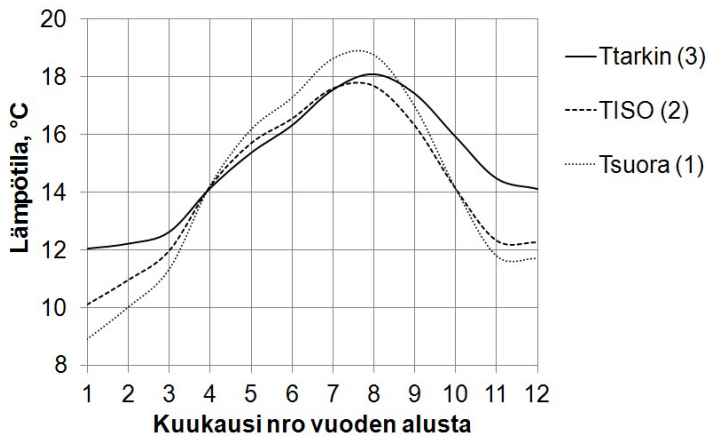
Ryömintätilan kuukausittaiset lämpötilat laskettiin kolmella esiteltyllä tavalla. Seuraavassa kuvaajassa on esitetty sisä- ja ulkoilman lämpötilat, sekä lattiarakenteen alapinnan, ryömintätilan ilmatilan sekä maanvastaisen lattian yläpinnan kuukausittaiset lämpötilat. Vertailun vuoksi kuvaan on otettu myös perinteisen ryömintätilaisen alapohjan kuukausittaiset lämpötilat ( $U_f = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $n = 3 \text{ 1/h}$ , 50 mm solumuovieristettä sokkelissa ja routaeristyksenä).



Kuva 3. Lämpimän ja perinteisen ryömintätilan kuukausittaiset lämpötilat laskettuna menetelmällä (3). Alapohjan koko on 8 m x 15 m. Lämpimässä ryömintätilassa LTO:n vuosiyötysuhde on 45 % ja ilmapuotoluku  $q_{50}$  on 4 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>h). Perinteisen ryömintätilan lattian U-arvo on 0,18 W/(m<sup>2</sup>) ja ilmanvaihtuvuus  $n = 3$  1/h. Perinteisessä ryömintätilassa sokkelin lämmöneristyksenä sekä routaeristyksenä on solumuovieristettä 50 mm.

Kuvasta nähdään, että lämpimän ryömintätilan lämpötila on ympäri vuoden ulkoilman lämpötilaa korkeampi. Perinteinen ryömintätilainen alapohja sen sijaan on kesällä hieman ulkoilmaa viileämpi, mistä seuraa suhteellisen kosteuden nousua ryömintätilassa sekä mahdollisesti jopa kondenssia rakenteen pintoihin.

Seuraavassa kuvassa on esitetty lämpimän ryömintätilan ilman kuukausittaiset lämpötilat kolmella eri laskentatavalla:



Kuva 4. Ryömintätilan ilmatilan kuukausittaiset lämpötilat kolmella eri menetelmällä (1, 2 ja 3) laskettuna. Alapohjan koko 8 m x 15 m, LTO:n vuosiyötysuhde 45 % ja rakennuksen  $q_{50}$ -luku on 4 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>h).

Kun tarkasteltavassa rakenteessa oli alumiinilaminaattipinta sokkelin sisäpinnassa sekä maanvastaisen lattian yläpinnassa, saatiin kahdella yksinkertaisemmalla menetelmällä noin 15 % korkeampi vuosittainen energiankulutus kuin tarkemmaksi katsotulla menetelmällä. Kun rakenteessa ei käytetty alumiinilaminaattipintoja, saatiin vuotuisesti lämpöhäviöksi kaikilla menetelmillä lähes sama tulos.



## 4. Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa on käyty läpi lämpimän ryömintätilaisen alapohjan määrittelyä, sille asetettavia vaatimuksia, ilmatiiviyn mittauseriaate sekä energiaselvitykseen liittyviä asioita. Lisäksi laskettiin ryömintätilan kuukausittaiset lämpötilat sekä energiankulutus kolmella eri menetelmällä.

Lämmin ryömintätila on tulkittu puolilämpimäksi tilaksi, joka ei kuitenkaan kuulu huoneistoalaan. Huolellisesti toteutettuna lämmin ryömintätila nähdään kosteusteknisesti turvallisempuna rakenteena kuin perinteinen ryömintätila. Lämmin ryömintätila on olosuhteiltaan lähempänä sisäilman kuin ulkoilman olosuhteita, jolloin maan viiveen vaikutus on pienempi ja haastavat kesäaikaiset olosuhteet helpottavat perinteiseen ryömintätilaan verrattuna. Tällöin ryömintätila muodostaa tuuletetun puskurivyöhykkeen maan ja lämpimien tilojen väliin.

Tuuletettu ryömintätila vähentää maaperän radonin tai muiden epäpuhtauksien siirtymistä lämpimiin tiloihin, minkä edellytyksenä on toimiva ja oikein säädetty ilmanvaihto. Olosuhteet maanvastaisen lämmöneristuksen alla ovat samankaltaiset kuin maanvastaisen laatan alla. Maanvastaisen rakenteen ilmatiiviyn varmistaminen tulee suunnitella ja toteuttaa huolellisesti.

Vuotoilmavirran lämpöhäviöiden suuruus tulee nykyisillä ohjeilla laskettaessa suureksi muihin lämpöhäviöihin nähden. Ilmanvaihdon minimimäärää sekä vuotoilmavirtojen ja rakenteessa esiintyvän kosteuskuorman suuruutta tulisi pystyä arvioimaan nykyistä paremmin.

Hyvin toimivan ratkaisun ominaisuuksia ovat vähäinen lämmöneristys lattiassa, riittävä lämmöneristys sokkelissa ja maata vasten, tuloilman lämpötilan nosto, rakenteen hyvä ilmatiiviyys, ilmanvaihtojärjestelmän painesuhteiden säätö, ulkopuolisten kosteuskuormien minimointi sekä laitteiden ja rakenteen toiminnan seuranta.

## Lähdeluettelo

- [1] Nevander, Lars Erik & Elmarsson, Bengt (2006) Fukthandbok. Praktik och teori. Svensk Byggtjänst. ISBN 9789173331562
- [2] RakMK C3 (2010) Rakennusten lämmöneristys. Määräykset 2010. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
- [3] RakMK D3 (2012) Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
- [4] RakMK D5 (2012) Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
- [5] SFS 5139 (2011) Rakennuksen pinta-alat. 2. painos. Suomen standardisoimisliitto SFS.
- [6] SFS-EN ISO 6946 (2008) Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation method. Finnish standards association SFS, Helsinki.
- [7] SFS-EN ISO 13370 (2008) Thermal performance of buildings. Heat transfer via the ground. Calculation methods. Finnish standards association SFS, Helsinki.
- [8] SFS-EN ISO 13789 (2008) Thermal performance of buildings. Transmission and ventilation heat transfer coefficients. Calculation methods. Finnish standards association SFS, Helsinki.